Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen.
Mathematisch – physikalische Klasse, 1918

[BEMERKUNGEN:
1. Die Formatierung und Seiteneinteilung des Originaltextes wurde weitgehend beibehalten.
2. Die Schreibung wurde weitgehend der Moderne angepasst.
3. Kommentare stehen in eckigen Klammern
4. Der Text hat vor allem historische Bedeutung und ist für den Einstieg in die Wissenschaft der Gebirgsbildung (Orogenese) in der unkommentierten Form nicht geeignet!
5. Link zum Originaltext: http://gdz.sub.uni-goettingen.de/dms/load/img/?PPN=GDZPPN002505193&IDDOC=63725
6. Kritik, Anregungen, Kommentare an: thomasdiehl001@gmail.com

Thomas DIEHL, August 2015]

ÜBER HAUPTFORMEN DER OROGENESE UND IHRE VERKNÜPFUNG

Von Hans Stille Vorgelegt in der Sitzung vom 13. Dezember 1918.

INHALT

I. DIE HAUPTTYPEN IN DER VIELHEIT DER OROGENETISCHEN ERSCHEINUNGEN

Die große Vielheit der Formen zu der die gebirgsbildenden Vorgänge in der Erdkruste geführt haben, wird in den Lehr- und Handbüchern der Geologie und Geographie im Allgemeinen in die beiden großen Gruppen ,,Faltengebirge" und ,,Schollengebirge" zusammengefasst, und dabei gilt meist das Faltengebirge als Ergebnis eines tangentialen Druckes, das Schollengebirge als

Ergebnis radialer und insbesondere abwärts gerichteter Kräfte. Beide Gruppen umschließen nun so wesentlich verschiedene Formen, dass man m. E. besser tut, nicht zwei, sondern vier Hauptgruppen orogenetischer Gebilde zu unterscheiden, und zwar:

1) D e c k e n g e b i r g e

Haupterscheinungsformen sind die weitausholenden liegenden Falten und Deckenüberschiebungen, die zu weitgehender horizontaler Verfrachtung von Gesteinsmassen geführt haben. Beispiele bieten weite Teile der Alpen.

2) F a l t e n g e b i r g e

Haupterscheinungsformen sind die Falten und diesen gegenüber zwar stark zurücktretend die Überschiebungen. Als typisches Beispiel mag der Schweizer Jura gelten. Die Verwerfung steht an Bedeutung ganz im Hintergrunde – soweit es sich nicht um alte Faltengebirge handelt, die erst später von Verwerfungen zerstückelt worden sind.

3) B r u c h f a l t e n g e b i r g e

Der Boden ist in Schollen zerrissen, die in sich verbogen und gefaltet sein können, jedenfalls aber in ihrer gesamten Anordnung ein gewisses Faltungsbild erkennen lassen. Es handelt sich um Falten, die ,,in statu nascendi" zerbrochen sind[1)]. Ein Bruchfaltengebirge typischer Art ist in Mittel- und Nordwestdeutschland durch die saxonische Faltung geschaffen worden.

4) B l o c k g e b i r g e

Der Untergrund ist durch Verwerfungen in einzelne größere Blöcke zerlegt innerhalb deren die Schichten zum Teil noch flach, zum Teil monoclinal liegen, aber Anzeichen einer Verbiegung nicht oder nur in geringem Maße erkennen lassen. Als typisches Blockgebirge pflegen die Wüstengebiete des westlichen Nordamerikas, z. B. das Great Basin zwischen der Sierra Nevada und den Rocky Mountains, zu gelten. In Deutschland haben wir Formen, die als Blockgebirge bezeichnet werden können, in gewissen Randzonen der variscisch gefalteten Massive, z. B. in der östlichen Randzone des Rheinischen Massivs; und schließlich sind auch die nach-variscischen Verschiebungen innerhalb der variscischen Horste im wesentlichen nach Art eines Blockgebirges erfolgt.

Typus 1 und 2 sind ,,Faltengebirge", Typus 3 und 4 ,,Schollengebirge" im ältere Sinne.

1) Nicht zu verwechseln mit dem Bruchfaltengebirge, in dem Faltung und Bruch gleichzeitig eintreten, sind natürlich solche Gebiete von Typus 2, in denen in späterer tektonischer Phase Bruchbildung nach Typus 4 eingetreten ist.

II. DAS VERBINDENDE UND GEMEINSAME IN DER VIELHEIT DER OROGENETISCHEN ERSCHEINUNGEN

1) Verknüpfung durch Zwischenformen. Räumliche Zusammenhänge.

So zweckmäßig eine Einteilung der Formen der Gebirgsbildung, wie die obige, auch sein mag um die Übersicht über die Formenfülle zu erleichtern, so ist sie doch insofern gekünstelt, als keinerlei scharfe Scheidung der Strukturkategorien möglich ist. Im Deckengebirge verlieren z. B. die horizontalen Verfrachtungen an Ausmaß, die Ableitung der Deckenüberschiebungen aus der Faltung wird deutlicher, und wir erhalten Übergangsformen vom Decken- zum Faltengebirge, wie etwa in der Zone der großen Überschiebungen entlang dem Südrande des belgischen Kohlenreviers. Oder es häufen sich im Faltengebirge die bei dessen typischer Entwicklung ganz zurücktretenden Verwerfungen und wir haben eine Zwischenform zwischen Faltengebirge und Bruchfaltengebirge, wie sie uns etwa in den oberkarbonisch-altdyadischen Schichten des Saar-Nahe-Gebietes als Ergebnis der vor dem Oberrotliegenden eingetretenen jüngsten Phase der variscischen Faltung entgegentritt. Oder es verschwindet endlich im Bruchfaltengebirge die Verbiegung der Schichten innerhalb der Schollen immer mehr, während die Anordnung des ganzen Schollensystems nach einzelnen Hebungs- und Senkungslinien weniger deutlich wird und dazu die Verwerfungen vielleicht an Zahl geringer und die Schollen entsprechend breiter und massiger werden; und aus dem Bruchfaltengebirge wird ein Blockgebirge. Gerade auf diese Tatsache der Verknüpfung der Haupttypen der Tektonik durch Zwischenformen weise ich hier nach, drücklich hin.

So verschieden also auch ein System großer, vertikal gegen einander verschobener Schollen, wie wir es etwa im Gebiete des Great Basin finden, von einem Deckengebirge von alpinem Typus ist, so sind schließlich auch diese tektonischen Formen durch Zwischenformen verknüpft und nur die gegenpoligen Endglieder in einer langen Reihe tektonischer Erscheinungen, innerhalb deren die eine Form in die andere überleitet.

Falten und ganz besonders Überfaltungen und Überschiebungen sind Dislokationsformen, die den Zusammenschub von Gesteinsmassen auf engeren Raum in besonderem Maße zum Ausdruck bringen.

Auch nach der einfachen Schrägstellung nimmt die vorher horizontal gelegene Schicht einen geringeren Breitenraum ein. Verwerfungen führen zur Zusammendrängung auf engeren Raum nur noch bei widersinnigem Einfallen. Nach der abnehmenden Einengungswirkung können wir also die Dislokationen etwa in Deckenschübe, liegende Falten, Faltungsüberschiebungen, Falten, Schichtenschrägstellungen, Verwerfungen einordnen und innerhalb einer solchen Reihe die ,,höheren" Dislokationsformen mit der im Allgemeinen stärkeren Einengungswirkung den Dislokationsformen mit der im· Allgemeinen geringeren oder endlich auch fehlenden Einengungswirkung gegenüberstellen. Und weiter können wir dann in der Reihe der tektonischen Gestaltungen je nach dem Vorherrschen höherer oder niedrigerer Dislokationsformen ,,höhere" oder ,,niedrigere" tektonische Typen unterscheiden. Der ,,höchste" tektonische Typus wäre in diesem Sinne also das Deckengebirge, der ,,niedrigste" das Blockgebirge, dazwischen stände das Faltengebirge i. e. S. und das Bruchfaltengebirge. Wir haben eben gesehen, dass sich zwischen die Haupttypen der Gebirgsbildung, ohne dass dabei zunächst an räumliche Verknüpfung gedacht zu werden brauchte, vermittelnde Zwischenglieder stellen. Doch auch unmittelbare räumliche Verknüpfungen kommen vor, indem ein und dasselbe geologische Gebilde in seinem Fortstreichen Änderungen des Strukturtypus er- fährt, indem z. B. ein Faltengebirge durch Steigerung des einseitigen Vorwärtsdrängens der Falten in ein Deckengebirge übergeht. In den Gebieten der deutschen Bruchfaltung, um ein anderes Beispiel zu geben, beobachten wir, dass die Bruchbildung im Fortstreichen einer Bruchfalte zurücktreten und eine mehr bruchlose Faltung erscheinen kann und dass damit ein und dasselbe Gebilde einen höheren oder, wenn die Sachlage in der umgekehrten Richtung verfolgt wird, niedrigeren tektonischen Typus annimmt.

2) Entstehungszeitliche Übereinstimmungen.

a. Das orogenetische Zeitgesetz.

Faltungen, Überschiebungen, Verwerfungen sind Formen der Veränderung des Lagegefüges in der Erdkruste, d. h. Formen der Orogenese. Orogenesen sind samt und sonders episodische Ereignisse, gebunden an ganz bestimmte, kurz umgrenzte Zeiten, zwischen denen die langen anorogenetischen Perioden liegen, in denen nur epirogenetische Bewegung vor sich geht. Diese Erfahrungstatsache muss immer wieder gegenüber der Annahme der Kontinuität der Gebirgsbildung betont werden.

Wie kommt letztere Auffassung zustande? Sie kommt ganz abgesehen davon, dass die orogenetischen Vorgänge, auf die es hier allein ankommt, und die Vorgänge epirogenetischer Art nicht auseinander gehalten werden, doch hauptsächlich dadurch zustande, dass man gleichsinnige Bewegungen in ein und derselben Zone, ja entlang ein und derselben Linie, mehrmals sich vollziehen sieht, d. h. also auf Grund der Erscheinung der posthumen Gebirgsbildung.

Aber ,,posthum" und ,,kontinuierlich" ist gewiss nicht das gleiche, vielmehr ist die posthume die ,,wiederholte" Gebirgsbildung, und schon in dem Worte ,,wiederholt" liegt eine zeitliche Unterbrechung zwischen den einzelnen Vorgängen ausgedrückt. Nehmen wir z. B. das Pariser Becken, das klassische Land der angeblichen, „Continui-
té du phénomène de plissement"[1)]

Den Falten des paläozoischen Untergrundes sind hier die Falten des Juras superponiert, den Falten des Juras, die der Kreide, denen der Kreide, diejenigen des Tertiärs, und im Allgemeinen verschwächt sich die Faltung von dem älteren zu dem jüngeren Systeme. Sehen wir von den paläozoischen Faltungen ab, so haben wir mit wenigstens drei Hauptphasen jüngerer Faltung zu rechnen. Die erste ereignete sich nach Ablagerung des Juras und vor Ablagerung des Barrêmiens, die zweite nach Ablagerung des Senons und vor Ablagerung des tiefsten Tertiärs (Montien und Landénien). Die dritte ist jünger als das jüngste vorhandene Tertiär des Pariser Beckens. Vielleicht gibt es außer diesen drei Hauptphasen nach gelegentlichen Angaben in der Literatur, die wohl der Nachprüfung bedürfen, noch einige weitere Zeiten orogenetischer Bewegung. Und mögen somit statt der drei Faltungsphasen auch deren vier oder fünf vorhanden· sein, so ändert das nichts daran, dass die Orogenesen zeitlich sehr beschränkte Phänomene sind und dass zwischen den Faltungsphasen, wie das Fehlen jeglicher winkliger Diskordanz in den zwischen ihnen entstandenen Schichtserien zeigt, jeglicher Faltungs- und Verwerfungsvorgang unterblieb. Somit kann man doch im Pariser Becken unmöglich von einer ,,kontinuierlichen" sondern nur von einer ,,episodischen" Faltung sprechen. Tatsächlich hat Marcel Bertrand, wenn er auch den Ausdruck der "Kontinuität" des Faltungsphänomens gebraucht hat, die „Kontinuität" nur im Sinne einer mehrfachen Wiederholung der Faltung bewiesen.

1) Marcel BERTRAND, Sur la. Continuité du Phénomène de plissement dans le Baasin· de Paris. Bull. Soc. géol. de France 3. Série Band XX, ' ' s. 118ff, (1892) .

Je kritischer man das Material über die Zeitlichkeit orogenetischer Vorgänge sichtet, umso klarer tritt hervor, dass sich diese Vorgänge auf der ganzen Erde in eine relativ geringe Zahl eng umgrenzter Zeiträume, die dadurch eine gewisse universelle Bedeutung gewinnen, einordnen, und dass in anderen und z. T. sehr langen Zeiten nirgends auf der Erde irgend welche Faltungen oder Verwerfungen nachgewiesen sind. Nirgends auf der Erde scheint mir z. B. eine Dislokation innerhalb der unter-silurischen Serie oder im Obersilur mit Ausnahme seines jüngsten Abschnittes oder innerhalb des Unterkarbons oder in der Trias mit ganz örtlicher Ausnahme in ihrer Ausgangszeit oder in der Zeitspanne vom Unterjura bis zum oberen Oberjura, oder im Hauptteile der Unterkreide oder im Oligozän mit Ausnahme seines jüngsten Teiles usw. sicher erweisbar zu sein, - nämlich so erweisbar, dass sie nicht auch älteren oder jüngeren ,,notorischen" Dislokationsphase angehört haben könnte. Und wo immer man die genannten Schichtfolgen untersucht, so fehlen jene Erscheinungen, die schon Elie de Beaumont in den zwanziger Jahren des vorigen Jahrhunderts das Mittel zur Bestimmung des Eintrittes und Alters von Gebirgsbildungen an die Hand gegeben haben, nämlich die Diskordanzen[1)].

Umgekehrt sind, wie uns die Diskordanzen in den verschiedensten Gebieten der Erde zeigen, z. B. der Ausgang der Silurzeit, der Ausgang der Devonzeit, der Ausgang des Unterkarbons, die Zeit unmittelbar vor Ablagerung der oberen Paläodyas, der Ausgang der Jurazeit, der Ausgang der Kreidezeit, der Ausgang des Oligozäns, der Ausgang des Miozäns usw. recht ,,kritische" Termine in tektonischer Hinsicht.

1) Um Missverständnissen zu begegnen, bemerke ich, dass ich hier den Begriff ,,Diskordanz", wie in der deutschen geologischen Literatur meist üblich ist, nur für dell Fall des winkligen Abstoßens der Schichtung des Liegenden am Hangenden gebrauche. (Winkeldiskordanz, ,,angular discordance", ,,discordace angulaire"), und nicht auch, wie in der englischen und amerikanischen und z. T. auch in der französischen Literatur zu geschehen pflegt, schon dann, wenn einfache Unterbrechung der Sedimentation, oft verknüpft mit Erosion, vorliegt, dabei aber das Liegende und Bangende durchaus parallelgeschichtet sind. In der französischen Literatur hat G. Dollfus (Bull. Soc. géol. France, 3. Série, t. IX, S. 118) die Notwendigkeit der scharfen Trennung der ,,discordance par ravinement" und der ,,vraie", dìscordance par soulèvement" hervorgehoben und für erstere die Bezeichnung ,,Semi-Diskordanz" gebraucht.

Natürlich muss man bei einer derartigen Festlegung orogenetische Zeiten, in denen die Struktur des Untergrundes durch Faltung, Überschiebung oder Verwerfung sich verändert, die epirogenetischen Vorgänge, die größere Erdgebiete ohne Änderung ihrer tektonischen Innenstruktur einheitlich und lang andauernd bewegen, abtrennen, - denn tut man dieses nicht, so hat man selbstverständlich eine ,,kontinuierliche" Gebirgsbildung

In manchen Fällen zerlegt sich eine tektonische Hauptphase zwar in ,,Unterphasen", aber auch dann ist die Gebirgsbildung nicht kontinuierlich, sondern durch anorogenetische Zeiten unterbrochen, wenn auch nur durch relativ kurze.

Mancherlei Umstände haben die Erkenntnis der Einordnung aller gebirgsbildenden Vorgänge in eine relativ beschränkte Anzahl kurzer Epochen hintangehalten und tun es vielfach heute noch. Es kommt dabei in allererster Linie die eben schon berührte unzureichende Unterscheidung von Epirogenese und Orogenese in Betracht, und das hängt wenigstens zum Teil wieder mit der Unklarheit über diese Begriffe, wie sie in der Literatur herrscht, zu erinnern, worauf ich an anderer Stelle zurückkomme. Unzweifelhaft epirogenetischer Art sind z. B. jene Bewegungen der Gebirge, die in der sog. ,,Antezedens" der Flusstäler zum Ausdrucke kommen, d. h. darin, dass der Fluss älter ist, als das Gebirge, das er durchschnitten hat, und zwar in dem Maße, wie es sich aufwölbte, „etwa wie die Säge den bewegten Balken durchschneidet". Solche Verhältnisse sind zuerst von Medlicott im Himalaya und unabhängig davon von Hayden und Powell in den Rocky Mountains und von E. Tietze im Alburs und in den Karpaten angenommen worden. Sowie später von E. Sueß (Antlitz der Erde III, 2, S. 583) für die Durchschneidung der Ausläufer des Sa-Alai, durch den Amu-Darja bei Kelif und des Mogol-tau durch den Syr-Darja. unterhalb Chodjent. Hier handelt es sich, um die von der jüngeren Morphologenschule in so vielen Gebirgen untersuchten weitspannigen Verbiegungen, die die Gebirgsstreifen in ihrer Gesamtheit und ohne Änderung der tektonischen Innenstruktur betreffen, die vergleichbar jenen weitspannigen Verbiegungen die zur Aufwölbung der Landschwellen führen und gleich jener säkulärer Art sind. Damit handelt es sich gar nicht um ,,Faltungen“ und überhaupt nicht um orogenetische Vorgänge. Also beweist die sog. ,,Antezedens" der Flusstäler auch in den Fällen, in denen sie wirklich zutreffend ist nichts im Sinne einer kontinuierlichen ,,Gebirgsbildung" sondern sie beweist nur die Kontinuität der Epirogenesen. Also kann man auch die „hinreichend sicheren Beweise", die A. Tornquist in seiner, „Allgemeinen Geologie" (Leipzig 1916,, S. 540) wieder aus der Antezedens der Klunsen des Schweizer Juras für die langsame Gebirgsbildung in diesem Gebirge und in den Alpen herleiten möchte, nicht anerkennen.

Oft sind sodann die stratigraphischen Unterlagen zur Festlegung der Zeitlichkeit einer Orogenese ganz unzureichend, ohne dass dem genügend Rechnung getragen wird. Immer wieder werden die Intervalle, innerhalb deren der orogenetische Vorgang eingetreten sein muss, nicht genau genug gefasst. Eine Faltung, die zwischen einer Stufe der Formation A und irgendeiner Stufe der Formation c eingetreten ist, wird kurzhin in die Zeit B verlegt, trotzdem sie ebenso gut bereits im Ausgange von A oder im Anfange von C eingetreten sein kann. Und ist sich der Autor auch der Basis, auf die er die Faltung „zur Zeit B“ begründete, bewusst, so erscheint die Faltungszeit B beim nächsten Literaturzitat schon als gesicherte Tatsache.

1) Überhaupt ist nach A. Tornquist (L. c. S 518) „aus der geologischen Erfahrung" nicht ersichtlich, dass die Kompression in der starren Erdrinde eine gewisse Periodizität aufweist und das es Zeiten besonderer Intensität der Kompression gibt, unter deren Einfluss der Zusammenschuh der Geosynklinalgebiete erfolgt". Dagegen spricht nach Tornquist vor allen Dingen, dass nicht alle Teile einer Geosynklinale gleich zeitig aufgefaltet worden sind. Diese Tatsache ist an sich unbedingt zutreffend, - denken wir doch nur an die Erscheinung des "Wanderns" der Faltung. Die Faltung ergreift im verstärkten Maße eben bald diesen bald jenen Teil der großen Geosynklinalen. Sie verschiebt sich dabei nicht nur quer zum Streichen sondern auch in der Richtung des Streichens, je nach dem wechselnden, - wenn ich sagen soll -, Prädestiniertsein der einzelnen Teile, das mit den wechselnden Verhältnissen der Mobilität (Gefügigkeit des Bodens gegenüber dem orogenetischen Druck) und Position (Erreichbarkeit für den orogenetischen Druck) zusammenhängt. Von „selektiver" Faltung nach Mobilität und Position habe Ich in diesem Sinne gesprochen (Geol. Rundschau 1917, Bd. VIII, S. 108). Diese bedingenden Verhältnisse wechseln aber innerhalb der Geosynklinalen von einer Gebirgsbildungsphase zur anderen im Gefolge der Strukturveränderung, die die vorangegangene Faltung mit sich gebracht hatte, und ganz besondere auch infolge der zwischen den beiden Gebirgsbildungsphasen eingetretenen tektonischen ,,Evolution" des Bodens. Das Tornquist hierin einen Beweis gegen die Periodizität einer verstärkten Wirkung des faltenden Druckes sehen will ist umso überraschender als er auf der folgenden Seite seines Lehrbuches die von mir an Hand der Verhältnisse des Niederdeutschen Becken, geschilderte mehrfache und kurzzeitige Unterbrechung der Evolutionen in der Erdkruste durch ,,diastrophale Bewegungsphasen" als ,,allgemeingültiges Gesetz" anerkennt. Der Eintritt ,,diastrophaler Bewegungsphasen" ist doch nichts anderes, wie der Eintritt der von Tornquist bezweifelten „besonderen Intensität der Kompression", - wie die entstehenden Faltungs- und sonstigen Einengungsbilder zeigen,

Ferner liegt oft den Behauptungen über das Auftreten orogenetischer Vorgänge eine viel zu weitgehende Bewertung von Geröllanhäufungen und von sonstigen faziellen Erscheinungen zugrunde. In anderen Fällen wird allein schon aus dem Eintreten von Trans- und Regressionen, indem sie mit Bewegungen der Lithosphäre in Zusammenhang gebracht werden, oder aus dem Wechsel kontinentaler oder mariner Sedimentation auf "gebirgsbildende" Vorgänge geschlossen. Für manche Regressionen besteht ohne Zweifel eine Berechtigung in dieser Richtung, denn wenn aus dem Meeresraume die Gebirge aufsteigen, so wird das Meer verdrängt aber andere Regressionen sind von orogenetischen Vorgängen unabhängig. Und was die Transgressionen anlangt, so scheint die Mehrzahl derselben und besonders der weltweit verbreiteten geradezu mit einem Erlahmen selbst der an sich schwachen epirogenetischen Erdkräfte in ursächlichem Zusammenhange zu stehen. Zum Beispiel fällt doch die weltweit verbreitete mittel-jurassische Transgression mit einer anorogenetischen Zeit allererster Ordnung zusammen.
Ein weiterer Fehler wird häufig in dem Sinne gemacht, dass allein schon aus der Einschaltung von Eruptivgesteinen in sedimentäre Schichtfolgen auf ,,tektonische" Vorgänge geschlossen wird. Dabei fallen doch z. B. in Deutschland die tertiären und dyadischen Ergüsse in der Hauptsache in solche Zeitspannen, in denen keinerlei Gebirgsbildung weder hier noch sonst wo erfolgt ist. Gewiss gibt es augenscheinliche Fälle einer gewissen Gleichwertigkeit von Orogenese und Vulkanismus, aber die Verallgemeinerung, das der Austritt von Eruptivmassen " insbesondere schon die Einschaltung von Eruptivdecken in den Sedimentserien Zeiten der Gebirgsbildung andeute, ist jedenfalls unzulässig.
Außerhalb der kurzfristigen orogenetischen Phasen sind nun aber nicht nur keine neuen Dislokationen entstanden, sondern es ist auch aus den Schicht- und Lagerungsverhältnissen kein Beweis zu entnehmen, dass die bestehenden Dislokationen neue Verschiebungen eingetreten seien, trotzdem eine gewisse Möglichkeit des letzteren Falles unter Hinweis auf die jungen Erdbebendislokationen zugegeben werden muss (vgl. unten). Dieses Geknüpft- sein auch der posthumen Verschiebungen an die orogenetischen Termine ist ganz besonders gegenüber der in der Literatur so weit verbreiteten Auffassung hervorzuheben, dass die Einsenkung der Meeresbecken und sonstiger Sedimentationsräume an fortwährend wiederaufreißenden, also in andauernder Wirksamkeit bleibenden.

Verwerfungen erfolgt sei, während, wie ich hier wohl nicht wieder ausführen brauche, die Beobachtungen in den uns zugänglichen Randzonen der Meere der Vorzeit nur im Sinne einer bruchlosen Absenkung sprechen und die in den alten Randzonen heute etwa vorhandenen Verwerfungen als Ergebnis einer älteren oder jüngeren oder auch einer den Absenkungsvorgang unterbrechenden Orogenese erscheinen lassen. So schleppt sich durch die Literatur ja auch die Behauptung vor dem oligozänen Einbruche des Oberrheintalgrabens. Trotzdem bisher nicht der Beweis dafür erbracht ist, dass im Oberrheingebiete in der Zeit, in der die mächtige oligozäne Sedimentation als Folge des Einsinkens vor sich ging, bei diesem Einsinken ein Bruch irgendwo aufgerissen oder wiederaufgerissen sei, und trotzdem die Brüche das Oligozän des Grabens entweder überhaupt nicht oder doch gleichmäßig in seiner Gesamtheit verwerfen, d. h. also entweder älter oder jünger als das Oligozän sind.

Die Grunderfahrung über die Zeitlichkeit von Gebirgsbildungen fasse ich als das orogenetische Zeitgesetz nochmals in folgender Form zusammen:

> Alle Gebirgsbildung, auch die des Buchfalten- und Blockgebirges, ist an verhältnismäßig wenige und zeitlich eng begrenzte Phasen von +/- erdweiter Bedeutung gebunden.

Es handelt sich hier: wie gesagt, um einen reinen Erfahrungssatz, Aber der Umfang der Erfahrungen - besonders auch hinsichtlich der immer wiederkehrenden Konkordanz in den Sedimenten langer Perioden - ist schon derartig, dass die Zusammenfassung zu einem allgemeineren Gesetze berechtigt erscheint.

b. Anorogenetische Dislokationen.

In den langen anorogenetischen Zeiten, die zwischen den oro-genetischen Phasen liegen, schlummern die tektonischen Kräfte nicht, nur äußern sie sich in schwachen, trotzdem aber durch die Langzeitigkeit ihres Wirkens oft zu gewaltigen Verschiebungen führenden (epirogenetischen) Bewegungen. Und wenn wir die Bruchlosigkeit dieser Vorgänge aus den uns überlieferten Schichtverbänden immer wieder herauslesen, so müssen wir trotzdem die Möglichkeit unbedeutender Ausnahmen offen lassen, - und das umso mehr, als uns wenigstens aus der anorogenetischen Jetztzeit derartige Ausnahmen bekannt sind.

Die Epirogenese ist nicht eine rein vertikale Bewegung größerer räumlicher Einheiten,

sondern eine Vertikalbewegung unter ganz schwacher, aber anhaltender Verbiegung oder, wohl richtiger gesagt, eine Vertikalbewegung infolge einer derartigen ,,Faltung größter Amplitude". Als ,,Undulation" habe ich sie in diesem Sinne den ,,Undulationen" der orogenetischen Zeiten gegenübergestellt. Diese langsame Verbiegung vollzieht sich selbst in relativ starren Materialien m. E. deswegen bruchlos, weil die Zeit gewissermaßen als mobilisierender Faktor wirkt und die Sprödigkeit, die bei plötzlichem und stärkerem Drucke zur Bruchbildung führen würde, aufhebt. Nun stellen wir uns ein nach älterer Orogenese in sich noch nicht wieder festgefügtes und noch nicht wieder verheiltes System großer Erdblöcke vor und denken uns dieses in ganz langsamer Verbiegung begriffen. Mag nun auch die Ursache der Verbiegung in seitlichem Drucke liegen und mag der schwache epirogenetische Druck allmählich auch zu einem festeren Gefüge der Massen führen, so wird es trotzdem innerhalb des Schollenhaufwerkes zu Rutschungen und Gleitungen, also zu Dislokationen, kommen können. Das ist es, was uns m. E. die Überlegung über den Vorgang der Undulation in noch nicht festgefügtem Boden sagen muss; und das ist es m. E. auch, was wir in seinen Wirkungen in den Erdbebendislokationen der anorogenetischen Jetztzeit, - oder doch in einem Teile derselben, beobachten.

Erdbebendislokationen, d. h. messbaren Verschiebungen an Erdbebenspalten, sind an sich seltene Erscheinungen. Das hob neuerdings W. Branca[2)] gegenüber der übertriebenen Geneigtheit, Erdbeben als ,,tektonische" zu klassifizieren, wieder hervor. Ferner sind die Sprunghöhen verschwindend gering, gemessen an dem Maßstabe sonstiger Erfahrungen über Verwerfungsbeträge. So zeigten die Erdbebendislokationen auf Lokris im Jahre 1894 1 1/2-2 m Sprunghöhe, diejenigen des mitteljapanischen Erdbebens im Jahre 1894 2,5-6 m, während bei dem Erdbeben von St. Francisco 100 im Jahre 1906 neben stärkeren Horizontalbewegungen von stellenweise 7 m Verschiebungsbetrag vertikale Verwerfungen von etwa 1m Sprunghöhe eingetreten sind.

Keineswegs sind aber alle Erdbebenspalten tektonischen Ursprungs.

1) H. Stille, Tektonische Evolutionen und Revolutionen in der Erdrinde. Leipzig 1918.
2) W. Branca, Über die Bedeutung der magmatischen Beben gegenüber den tektonischen. Sitzungsber. Königlich Preußische Akademie der Wissenschaften. Mathematisch -physikalische. Klasse. 1917. Bd. XXVIII, S. 380 ff.

Bekanntlich pflegt man die Erdbeben ihrer Ursache nach in tektonische, vulkanische (magmatische) und Einsturzbeben (Auflösungsbeben Branca's) einzuteilen, und selbstverständlich sind etwaige Erdbebenspalten, die bei Erdbeben der letzten beiden Kategorien entstanden sind, keine tektonischen Erscheinungen, sondern gehören zu den weiterhin zu besprechenden ,,unechten" (atektonischen) Dislokationen, (Pseudo-Dislokationen"). Nun ist aber die Trennung tektonischer und vulkanischer Erdbeben in "vielen Fällen recht schwierig und umstritten, und sicher sind sehr viele Erdbeben vulkanischer oder doch magmatischer Natur, trotzdem sie, was im Allgemeinen als Beweis für tektonischen Ursprung gilt, in tektonischen Zonen liegen und trotzdem magmatische oder gar vulkanische Vorgänge nicht in ihrer Nachbarschaft erkennbar sind. Ich verweise in diesem Sinne auf die jüngst veröffentlichten Ausführungen Branca's (l. c.) über die Bedeutung der magmatischen Beben gegenüber den tektonischen.

Mag man nun aber auch in der Zuteilung der Erdbeben zu den atektonischen Kategorien recht weit gehen und mag man bei den tektonischen Erdbeben auch die rein oberflächlichen Wirkungen der Erderschütterung an Hängen oder in lockeren Erdmassen, auch wenn sie in Form von Verwerfungen in Erscheinung treten, fortlassen, so bleibt doch immerhin eine Reihe von jungen Erdbebendislokationen übrig, deren tektonische Natur sich kaum bestreiten lässt, - d. h. von Verwerfungen, die in einer anorogenetischen Zeit, nämlich der Jetztzeit und jüngsten Vergangenheit, entstanden sind. Sind wir berechtigt, sie als Begleiterscheinungen einer Undulation in noch nicht festgefügten Bodengebieten zu erklären, so sind sie damit zwar tektonisch, aber nicht orogenetisch. Als ,,pseudo-orogenetisch" mag man sie, da sie zwar äußerlich mit orogenetischen Erscheinungen übereinstimmen, bezeichnen. Sie sind nicht Äußerungen der episodisch wirkenden starken Kräfte, die zu den Erscheinungen der Orogenese führen, sondern Begleiterscheinungen der säkulären schwachen Erdbewegungen, die unter den Begriff der Epirogenese fallen. Damit unterliegen sie auch nicht dem orogenetischen Zeitgesetze, wie sie auch ferner nicht dem noch zu besprechenden orogenetischen Hochbewegungsgesetze zu folgen brauchen.

Zum orogenetischen Zeitgesetze sind wir dadurch gekommen, dass wir diejenigen Erscheinungen, die unter den Begriff der Orogenese fallen, als auf ganz bestimmte Zeiten beschränkt und als in den Zwischenzeiten fehlend erkannten. Nun sehen wir, dass eine äußerst schwache, sich in der anorogenetischen Jetztzeit einstellen kann.

Und wie es heute Erdbeben gibt, die zu Dislokationen führen, so wird es an solchen auch in den anorogenetischen Zeiten der älteren Erdgeschichte nicht gefehlt haben. Das einzige Kriterium zur Unterscheidung derartiger ,,Erdbebenspalten" der Vorzeit von den echten oro-genetischen Dislokationen ist die Entstehungszeit. Die Feststellung solcher fossiler Erdbebenspalten wird sicher zunächst erschwert durch die sehr geringen Sprunghöhen, dann aber auch dadurch, dass die zur Ermöglichung der genaueren Zeitbestimmung gerade bei derartig unbedeutenden Verschiebungen erforderlichen günstigen Umstände nur recht selten zusammenkommen mögen. Es genügt an sich nicht, dass in einem günstigen Aufschlusse die Verwerfung selbst erkennbar ist, denn dann ist ja keinerlei Beweis gegen ihre Zugehörigkeit zu einer orogenetischen Phase vorhanden; sondern der gleiche Aufschluss müsste auch noch die überdeckende und nicht mehr verworfene Schicht, die nach der Entstehung der Verwerfung abgelagert wurde, zeigen. Jedenfalls muss aber schon die Möglichkeit oder, richtiger gesagt, Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseins solcher fossiler Erdbebenspalten davor warnen, auf eine einzelne kleine Verwerfung, die einmal ganz außerhalb des Rahmens aller sonstigen Erfahrungen über die Zeitlichkeit orogenetischer Vorgänge nach- gewiesen wird, eine orogenetische Phase begründen zu wollen, wie auch die rezenten Erdbebenspalten die Jetztzeit nicht als orogenetisch kennzeichnen können, sondern sich durchaus im Rahmen unserer Vorstellungen über epirogenetische Vorgänge erklären lassen. Es kommt hinzu, dass eine solche fossile Erdbebenspalte vielleicht gar auf ein atektonisches Beben zurückgehen könnte und dann nicht nur anorogenetisch, sondern sogar atektonisch wäre.

Es gibt also, das wollen wir zum Schluss wiederholen, Verwerfungen, wenn auch ganz unbedeutende, die tektonischen Ursprungs sind und trotzdem nicht unter das orogenetische Zeitgesetz fallen, - die allerdings auch gegen die allgemeine Gültigkeit des orogenetischen Zeitgesetzes nichts beweisen, da sie ja epiro-genetischer Entstehung sind. Sie bilden aber eine Einschränkung der Auffassung von der Bruchlosigkeit der Epirogenese, allerdings eine solche, die ans dem ganzen Vorgange einer unter besonderen Verhältnissen sich vollziehenden Epirogenese ohne weiteres verständlich ist.

1) Eine jede Orogenese ist selbstverständlich mit Erdbeben und zwar mit solchen von großer Intensität verknüpft, und eine jede Verwerfung ist in diesem Sinne eine Erdbebenspalte. Wenn ich aber hier von ,,Erdbebenspalten" spreche, so meine ich natürlich nur die den Spalten unserer heutigen, d. h. anorogenetischen Erdbeben vergleichbaren Risse.

c. Atektonische Dislokationen („Pseudodislokationen").

Dem orogenetischen Zeitgesetze unterliegen ferner nicht, wie ganz selbstverständlich ist, die ,,unechten" Dislokationen (,,Pseudodislokationen"), d. h. diejenigen Verschiebungen in der Erdkruste, - und zwar im allgemeinen in deren alleräußerster Zone -, die zwar äußerlich den ,,echten" Dislokationen gleichen können, jedoch nicht durch die tektonischen Kräfte der Erdrinde hervorgerufen worden sind, sondern durch exogene Kräfte oder den Vulkanismus.

Folgende Beispiele solcher Dislokationserscheinungen, ,,die nicht mit den Wirkungen der orogenetischen Kräfte verwechselt werden dürfen", nennt J. Cornet im 2. Bande seiner ,,Géologie" (Mons 1910), S. 69-71:

1) Schollenabsetzungen an Talhängen.
2) Hakenbildungen an Talhängen.
3) Faltungen plastischerer Gesteinsmassen an Talhängen infolge Gehängegleitung, besonders bei Gleitung schwerer Gesteinsmassen.
4) Subaquatische Rutschungen.
5) Gletscherwirkungen auf den Untergrund.
6) Einbrüche über Auslaugungsräumen.
7) Auftreibungen infolge der Volumenzunahme von Gesteinsmassen bei chemischer Veränderung.
8) Wirkungen lakkolithischer Intrusionen.

Für Fall 6 finden sich wohl nirgendwo derartig schöne Beispiele, wie in Mittel- und Norddeutschland in den oft viele Kilometer, - ja meilenweit sich erstreckenden ,,Auslaugungsgräben" über den subterranen Rücken von Zechsteinsalz, die auch nicht, wie sonst im allgemeinen die saxonischen Gräben, an die Senkungszonen des Bodens, sondern umgekehrt an die Hebungsachsen gebunden zu sein pflegen.

Atektonisch sind ferner die in Begleitung vulkanischer Eruption eintretenden Dislokationserscheinungen und endlich diejenigen Erdbebenspalten, die mit atektonischen Beben (s. oben) zusammen· hängen, wie auch solche durch tektonische Beben ausgelösten indirekten Dislokationswirkungen, die unter die obigen Kategorien 1-4 fallen.

d. Die vergleichende Methode der Altersbestimmung gebirgsbildender Vorgänge.

Es lassen sich nur in verhältnismäßig wenigen Fällen die orogenetischen Vorgänge im Einzelaufschlusse oder im Einzelgebiete zeitgenau oder einigermaßen zeitgenau festlegen. Das ist z. B. der Fall, wenn, wie bei der "sudetischen" Faltung Niederschlesiens, in der gefalteten Serie noch das obere Unterkarbon steckt, während die überdeckende ungefaltete Serie mit dem unteren Oberkarbon (Waldenburger- Stufe) einsetzt; oder wenn die 1. und 2. Mediterran-Stufe noch mitgefaltet sind, während die Pontische Stufe keinen Anteil mehr an der Faltung hat (z.B. Rhonebecken, Drau Save-Gebiet). Solche Möglichkeiten der ,,unmittelbaren" Zeitfestlegung einer Orogenese nach den Verhältnissen im untersuchten Erdschnitte sind im Allgemeinen nur dann vorhanden, wenn recht bald nach der Orogenese die Sedimentation wieder eingesetzt hatte. Aber zwischen Orogenese und wiederbeginnender Sedimentation liegt zumeist eine lange Periode der Denudation, in der auch die vor der Orogenese entstandenen Sedimente zum Teil wieder beseitigt werden, und so ergeben sich längere oder kürzere überlieferungslose Zeitintervalle, innerhalb deren die Gebirgsbildung zu irgendeinem, aber unmittelbar nicht näher anzugebenden Zeitpunkte eingetreten ist.

In solchen Fällen beschreiten wir den Weg der "mittelbaren" Zeitfestlegung durch Vergleich mit den Verhältnissen in anderen Erdschnitten. Wir ermitteln, welche zeitgenaue Gebirgsbildung innerhalb des in Frage kommenden Zeitintervalls in Nachbargebieten oder, - falls auch hierkeine vergleichbaren ,,unmittelbaren" Ergebnisse zu erhalten sind - , überhaupt in der Erdkruste erkennbar ist, und teilen dieser tektonischen Phase, fußend auf dem orogenetischen Zeitgesetze, den zunächst nur intervallmäßig festgelegten Vorgang zu. Das ist ein Weg, der in Einzelfällen oft genug beschritten worden ist; mir kommt es aber hier darauf an, die Notwendigkeit seiner konsequenten Begehung zur Vermeidung des Verlegens von tektonischen Ereignissen in Zeitpunkte oder Zeitspannen, die sich überall als an· orogenetisch erwiesen haben, hervorzuheben und an Einzelbeispielen zu erläutern.

In weiten Teilen des Tian-schan[1)] transgrediert über einem gefalteten Grundgebirge,

1) Vgl. u. a. K. Leuchs, Zentralasien, Hdb. d. region. Geol. Bd. V, Abtlg. 7, Heidelberg 1916. Nach den Forschungen F. Machatscheck's (Ergebnisse einer Studienreise in den westlichsten Tian-schan Oberdevon und Unterkarbon lückenlos und konkordant miteinander verbunden. Aber das beweist natürlich nichts gegen die vorkarbone Faltung im zentralen Tian-schan, sondern beweist nur, dass diese Faltung das heutige Gebiet des westlichen Tian-schan nicht ergriffen bat.

Das devonische Schichten einschließlich Oberdevon enthält, das obere Unterkarbon mit Productus giganteus Mart. (Visé-Stufe), während das untere Unterkarbon gänzlich zu fehlen scheint.
Die Faltung ist hier also in dem Intervalle zwischen Oberdevon und Visé-Stufe eingetreten. In dieses Intervall fällt die in vielen Gebieten der Erde, in Europa z. B. in den Sudeten, der Bretagne und dem Gebiete des schottischen Grabens, nach· weisba.re vor-karbone Gebirgsbildung, und dieser und nicht etwa einer ,,intra-unterkarbonen" Phase der variscischen Faltung, die ein gänzliches Novum in der geologischen Wissenschaft bedeuten würde, schon mit der Konkordanz von unterem und oberem Unterkarbon, wo immer sie zusammen auftreten, nicht vereinbar wäre, ist auch die zunächst nur als älter als oberes Unterkarbon zu bestimmende Phase der Faltung des Tian-schan zuzuteilen. Die auf die Untereuch11Dgen im Tian-schan begründete Auffassung von K. Leuchs, des die Faltung spätdevonisch-unterkarbonisch sei, ist zwar durchaus zutreffend, nur lässt sich m. E. auf vergleichender Basis der Zeitpunkt noch etwas genauer dahin präzisieren, dass er schon vor dem Unterkarbon liegt.

In vielen Gebieten Europas lassen sich z. T. nur schwache, z. T. auch recht beträchtliche orogenetische Vorgänge zwischen Unterem und Oberem Rotliegenden nachweisen. Das ist z. B. in der Gegend von Halle, im Erzgebirgischen Becken, im Saargebiete, im Schwarzwalde, in den Karnischen Alpen und in den Pyrenäen Fall. Soweit in diesen Gebieten Oberes Oberkarbon {Ottweiler Stufe, Stéphánien) noch vorhanden ist, findet es sich in völliger Konkordanz mit dem Unterrotliegenden. Wenn wir nun das Oberrotliegende unter Ausfall von Unterrotliegendem diskordant über Ottweiler Schichten, - wie an vielen Stellen der Mansfelder Mulde - , antreffen, so ist zwar in diesen besonderen Fällen die „unmittelbare" Zeitfixierung des tektonischen Ereignisses innerhalb des Intervalls vom Oberen Oberkarbon bis zum Oberrotliegenden nicht möglich; aber auf dem ,,mittelbaren" (vergleichenden) Wege kommen wir selbstverständlich dazu, auch hier die Gebirgsbildung der allgemeiner erkannten Vor-oberrot- liegend-Phase zuzuteilen und sie nicht etwa, da ,,zwischen Oberkarbon und Oberrotliegend" eingetreten, kurzhin in das ,,Unterrotliegende" zu verlegen und womöglich hier einen neuen Hinweis auf die oft behauptete, aber mit der immer wieder zu beobachtenden Konkordanz vom Oberen Oberkarbon bis zum Ende des Unterrotliegenden unvereinbare "postkarbonische" oder „frühdyadische" Faltung zu erblicken.

Im westlichen und nördlichen Randgebiete der Alpen können wir feststellen, dass eine bedeutsame Faltung nach der Maastrichter Stufe des Obersenons und vor dem Mitteleozän (Lutétien) eingetreten ist; die genauere Zeitbestimmung ist zwar hier wegen der Lückenhaftigkeit der Profile (Fehlen des Daniens, Paleozäns und Untereozäns) auf unmittelbarem Wege nicht möglich, wohl aber bringt uns die mittelbare (vergleichende) Methode dem Ziele näher. Eine jüngst kretazisch-alttertiäre Gebirgsbildung ist nämlich auf der Erde weithin eingetreten, und zwar, soweit überhaupt eine genauere Zeitbestimmung möglich ist, bereits vor Ablagerung des jüngsten Gliedes der Kreide, des Daniens, - wenn vielleicht auch mit einer unbedeutenden Nachphase im frühen Paleozän (vor der Landener Stufe) zu rechnen ist und wenn auch in einem Einzelfalle, der wohl noch der Nachprüfung bedarf (Pays de Bray im Pariser Becken nach Munier-Chalmas eine ganz unbedeutende winklige Diskordanz zwischen Untereozän (Cuìsien) und Mitteleozän (Lutétien) angegeben wird. Aber die anderseits immer wieder beobachtete Konkordanz innerhalb des älteren Tertiärs einschließlich der lutetischen Stufe führt im Zusammenhange mit der Erkennung. Einer bedeutsamen Dislokationsphase in der allerjüngsten Kreide dazu, auch die ,,vorlutetische" Faltung im westlichen und nördlichen. Randgebiete der Alpen schon in die allerjüngste Kreide zu verlegen, - wie auch die sonstigen ,,vorlutetischen" Gebirgsbewegungen, die wir z. B. noch in Istrien, in den Karpaten, im Apennin, in Südspanien, im Atlas oder in den pazifischen Randgebieten Nordamerikas kennen. In diese Zeit glaube ich nach der vergleichenden Methode nunmehr auch die ,,vor-tertiäre" oder ,,alttertiäre" Phase der saxonischen Faltung Deutschlands stellen zu müssen.

Die ,,jungmiozäne" Gebirgsbildung erweist sich in vielen ·Gebieten, - so im Rhonebecken, in der Drau-Save-Zone, in Nordwestafrika, im Kaukasusgebiete, als zwischen der 2. Mediterranstufe und der pontischen Zeit erfolgt (,,vor-pontische" Gebirgsbildung); an einzelnen Stellen ist sogar noch eine genauere Altersfeststellung dahin möglich, dass sie zwischen der sarmatischen oder wenigstens der altsarmatischen und der pontischen Zeit eintrat.

1) Vgl. Ha.ug, Traité de Géologie, Fig. 407, S. 1426.

Nun liegt zwar in anderen Gebieten, - wie in den subbetischen Gebieten Südspaniens, in Portugal, am Südrande der Alpen oder wie außerhalb Europas in Britisch Birma und im malaysischen Archipel, - über den dislokierten Mediterranschichten nicht die pontische Stufe, sondern post-pontisches Pliozän (Piacenza Stufe oder noch jüngeres), aber trotz des Fehlens der pontischen Stufe wird man auch in diesen Fällen, da die pontische Stufe und die nächst jüngeren postpontischen Schichten, wenn zusammen auftretend, in sich stets konkordant liegen, die Dislokationsvorgänge nach dem vergleichenden Verfahren in die vorpontische Phase zu verlegen haben.

Selbstverständlich führt auch die eben an Beispielen erläuterte mittelbare Methode der Altersfestlegung tektonischer Vorgänge durch Vergleich mit den Verhältnissen in anderen Gebieten keineswegs immer zu eindeutigen Resultaten, vielmehr ergeben sich solche nur dann, wenn innerhalb der in Frage kommenden Zeitspanne nur ein einziger notorischer Dislokationstermin vorhanden ist. Und auch dann hat das Wort "eindeutig" oft nur einen vorläufigen Wert, denn neue Forschungen können immerhin auch in solchen Zeiträumen, die wir bisher "als anorogenetisch glauben betrachten zu müssen, neue orogenetische Phasen enthüllen; dessen wollen wir ans bewußt bleiben, wenn von ,,eindeutiger" Zeitbestimmung auf vergleichendem Wege die Rede ist.

Haben wir dagegen zwei notorische Dislokationsphasen innerhalb des in Frage kommenden Intervalls, so ist natürlich das mittelbar festzustellende Ergebnis zweideutig, haben wir deren drei, so ist es dreideutig usw. Ziehen wir z. B. in Deutschland in der Zeit vom Jura bis zum Alttertiär nur die drei Hauptphasen der saxonischen Faltung, nämlich die vorkretazische (kimmerische), die vorsenone (vor Oberemscher) und die jüngst-kretazische vortertiäre", s. o.) in Betracht und vernachlässigen wir die Unterphasen, die z. B. bei der kimmerischen Faltung auftreten, so haben wir in dem Falle der Überlagerung von dislokierten Lias durch Untere Kreide ein eindeutiges Resultat, da hier nur die kimmerische Dislokationsphase in Betracht kommt, im Falle der Überlagerung durch Senon aber ein zweideutiges (kimmerische oder vorsenone Phase) und endlich im Falle der Überlagerung durch die subherzynische Braunkohlenformation ein dreideutiges (kimmerische oder vorsenone oder jüngst-kretazische Phase).

Alles in allem müssen wir also hinsichtlich der anzuerkennenden uns auf die wenigen bereits erkannten und sich immer wieder bestätigenden Termine beschränken, bis die völlige Unmöglichkeit der Einreihung eines orogenetischen Ergebnisses in irgend einen derselben erwiesen und damit der unzweideutige Beweis für eine neue Dislokationszeit erbracht ist. Und ist er erbracht, so ist an der ganzen Auffassung des Beschränkt seins der orogenetischen Vorgänge auf relativ wenige und kurze Phasen nichts geändert, sondern die so kleine Zahl der notorischen Phasen ist eben nur um eine neue vermehrt worden. Aber dass zu den bis heute festgestellten Faltungsphasen nicht allzu viele neue mehr hinzukommen werden, das sagen uns schon jetzt die in allen Weltteilen wiederkehrenden Konkordanzen innerhalb der gleichen mächtigen Schichtfolgen.

Wie die Stratigraphie die Basis zur Festlegung der Zeitlichkeit orogenetischer Erscheinungen bietet, so können - umgekehrt die orogenetischen Vorgänge, nachdem ihr Beschränkt sein auf ganz bestimmte Zeitlichkeiten als allgemeines Gesetz erkannt worden sind wichtige Anhaltspunkte für die Klärung stratigraphischer Fragen, namentlich beim Fehlen sonstiger Anhaltspunkte, bieten. Wenn z. B. in Gebieten variscischen Faltung eine Schichtfolge von Rotliegend Typus konkordant dem Oberkarbon folgt und in sich konkordant ist, so wird man diese Schichtfolge mit erheblicher Wahrscheinlichkeit in ihrer Gesamtheit für älter als Oberrotliegend halten dürfen; eine zwischen ihr und dem Oberkarbon vorhandene Diskordanz würde dagegen auf die Zugehörigkeit zum Oberrotliegend schließen lassen. Und tritt innerhalb dieser Schichtfolge eine Winkeldiskordanz auf, so wird man mit dieser die Grenze zwischen Unter- und Oberrotliegend zu ziehen haben.

Ein anderes Beispiel. Die kohleführenden Schichten von Hainichen und Borna bei Chemnitz werden bald als Kulm bald als unterstes Oberkarbon (Waldenburger Stufe) aufgefaßt, ohne dass die begleitenden Pflanzenreste eine sichere Entscheidung zulassen. Nun haben diese Schichten eine ziemlich bedeutende Aufrichtung erfahren, und zwar vor Ablagerung der Saarbrücker Stufe von Zwickau und Lugau-Ölsnitz[1)]; und da wir aus anderen Gebieten, in denen außer der Saarbrücker auch noch die Waldenburger Stufe vorhanden ist, wissen, dass der nach-kulmische Faltungsakt schon vor der Waldenburger Stufe eingetreten ist, und da anderseits Waldenburger und Saarbrücker Stufe, wo auch immer sie zusammen auftreten, in sich konkordant liegen, so muss man m. E. auch die Faltung der Schichten von Hainichen und Borna in die Zeit vor der Waldenburger Stufe verlegen und diese Schichten deshalb dem Kulm, und nicht dem tiefsten Oberkarbon, zuteilen.

1) F. Kossmat, Übersicht über die Geologie von Sachsen, S. 56.

e. Die Gleichzeitigkeit der Entstehung der verschiedenen Strukturtypen.

Darf nun als Erfahrungssatz gelten, dass die orogenetischen Vorgänge nur an ganz bestimmte Termine in der Erdgeschichte geknüpft sind, so steht weiter fest, dass nicht etwa in der einen Zeit die Faltungen, in der anderen die verwerfungsartigen Phänomene eintraten, sondern dass gleichzeitig die verschiedensten Gebirgstypen geschaffen wurden, - hier z. B. ein Faltengebirge, .dort ein Blockgebirge.

Bedeutsame orogenetische Vorgänge fallen in den circum-mediterranen Faltengebirgen, Alpen, in die Wende von Kreide- und Tertiärzeit. Es ist dieselbe Faltung, die, wie oben schon gesagt wurde, als ,,vor-lutetisch" in solchen Gebieten bezeichnet wird, die erst im Lutétien (Mitteleozän) erneut überflutet worden sind. In die gleiche Zeit fällt auch eine der Hauptdislokationsperioden im außeralpinen Europa, z. B. im Pariser Becken, wo nun zwar nicht ein typisches Faltengebirge entsteht, sondern wo ein flachwelliges Bruchfaltengebirge älterer Anlage sich fortbildet. In diesem Sinne sei auf die erneute Bruchfaltung entlang der Axe des Artois verwiesen. Bei uns in Deutschland wird diese Phase als ,,alttertiär" oder ,,voroligozän" bezeichnet, - als ,,vor oligozän" dort, wo das Fehlen älteren Tertiärs ihre genaue Zeitbestimmung unmöglich macht, - während sie nach den Verhältnissen im nördlichsten Deutschland älter als die dortige paleozäne Transgression ist, die wir wohl mit der Transgression der Landener Stufe in Belgien und Nordfrankreich und der Transgression der Thanetstufe im Londoner Becken zu identifizieren haben. Wir finden also, soweit wir den Verhältnissen überhaupt nachgehen können, die Gleichzeitigkeit der tektonischen Vorgänge in den Alpen und nördlich der Alpen; aber in den Alpen entsteht die Form des echten Falten- oder gar des Deckengebirges, in den außeralpinen Becken die Form des Bruchfaltengebirges, stellenweise auch des Blockgebirges.

Ein anderes Beispiel.
Eine bedeutsame Phase der Gebirgsbildung, zum Teil zerfallend in 2-3 Unterphasen, liegt für viele Erdgebiete in der Wende von Jura- und Kreidezeit. In ihr ereignet sich die mit starken Intrusionen magmatischer Massen verknüpfte Hauptfaltung der pazifischen Ketten Nordamerikas von Alaska bis Mexiko ist diese "Pacific revolution" bekannt, im Gebiete der Vereinigten Staaten besonders in der Sierra Nevada und den Coast Ranges, und überall hat sie hier den Typus des Faltengebirges geschaffen. Auch aus der westlichen Umrandung des Pazifiks, aus Japan und Neu-Seeland, wird diese Faltung angegeben. Gleichzeitig entstehen ganz andersartige Gebirgstypen in anderen Teilen der Erde, so in den atlantischen Gebieten Nordamerikas Schollenverschiebungen von Blockgebirgsart, an denen die Newark Formation noch beteiligt ist, - mag zwar hier auch das Fehlen des Juras nur die ,,vergleichende" Methode der Altersbestimmung ermöglichen. Weitverbreitet ist die spät-jurassische (vorkretazische) Gebirgsbildung in Europa; und fehlen ihre Spuren hier auch nicht in den jungen Faltengebirgen, so ist sie doch vor allen Dingen für die außeralpinen Gebiete Mittel- und Westeuropas bedeutungsvoll und hat dort zu den Erscheinungen des Bruchfalten- oder auch des Blockgebirges geführt.

Nehmen wir endlich noch ein Beispiel aus der Zeit der variscischen Gebirgsbildung. Sie ist eine typische Faltung in den weitesten Teilen Mitteleuropas, so auch noch in Südengland. Aber in Nordengland und Schottland, in den Gebieten der vorangegangenen kaledonischen Erdbewegungen, tritt zu den Zeiten, in denen in Mitteleuropa der tektonische Typus des Faltengebirges entsteht, nämlich einerseits zwischen Old Red und Unterkarbon und andererseits zwischen Unterkarbon und Oberkarbon, Verschiebung langanhaltenden Brüchen ein. Auch schon zwischen dem unteren und ·oberen Old Red sind hier Schollenverschiebungen erfolgt, und diese mögen ihr zeitliche Äquivalent in gewissen Faltungserscheinungen des deutschen variscischen Gebirges haben, über die in Bezug auf das Lahngebiet Veröffentlichungen von J. Ahlburg bevorstehen.

Eine grundsätzliche Unterscheidung von Zeiten der Faltungserscheinungen und Zeiten der Verwerfungserscheinungen ist also, wie ich wiederhole, nicht angängig, vielmehr sind es die gleichen Perioden; in denen sowohl Falten wie auch Verwerfungen entstehen. Das sehen wir dort wo im Bruchfaltengebirge Falten und Verwerfungen zusammen den tektonischen Bau des Untergrundes schaffen, - in dieser Hinsicht verweise ich auf meine älteren Arbeiten ; das sehen wir auch dann, wenn jede der beiden Dislokationsarten ihre besonderen Räume bevorzugt.

3) Entstehungsartliche Übereinstimmungen

a. Das orogenetische Hochbewegungsgesetz.

Nicht nur strukturell durch Übergänge und nicht nur entstehungszeitlich sind die verschiedenen Formen der Gebirgsbildung miteinander verknüpft, sondern auch durch etwas drittes, nämlich durch die Gleichartigkeit des Bewegungssinnes beim Entstehungsvorgange, der bei allen der aufwärtige ist.

Wenn man von ,,aufwärts" und ,,abwärts", von "gehoben" und ,,gesunken" spricht, so vergleicht man damit zunächst nur das Verhalten zur Nachbarschaft. In diesem Sinne definiert man den Horst als einen an Verwerfungen ,,gehobenen", den Graben als einen an Verwerfungen ,,gesunkenen" Teil der Erdkruste. Zu absoluteren Vorstellungen kann man dadurch kommen, daß man die Bewegungen auf den einzigen uns verfügbaren Pegel, nämlich die Oberfläche der Hydrosphäre, bezieht. Allerdings ist der Meeresspiegel der Vorzeit wohl kaum ein stabiles Vergleichsniveau und ganz besonders kann er nicht als stabil gelten, wenn man sich auf den Boden der Kontraktionstheorie stellt, - aber wir haben kein anderes verwertbares Fundament für unsere tektonischen Überlegungen. Und tatsächlich wird von ihm auch ziemlich allgemein - bewusst oder unbewusst - ausgegangen, wenn man Hebungs- und Senkungsvorgänge der Vorzeit betrachtet.

Faltung bringt Heraushebung die durch die Faltung auf geringeren Breitenraum gebrachten Gesteinsmassen weichen in den Höhenraum aus. Der Beweis für die Heraushebung liegt in der nach der Faltung einsetzenden Denudation solcher Gesteinsmassen, die sich vor der Faltung unter dem Denudationsbereiche, oft sehr tief unter ihm, befunden haben. Auch die Deckenfaltung ist mit Heraushebung der betroffenen Gesteinsmassen verknüpft, wenn hier auch eine besonders starke. Seitenbewegung hinzukommt.

Was für die Biegefaltung hinsichtlich der Heraushebung der Gesteinsmassen ohne weiteres zutrifft, gilt gleichfalls für die Bruchfaltung. Das habe ich ganz besonders gegenüber der Senkungstheorie, wie E. Sueß sie in Bezug auf die mitteldeutsche Gebirgsbildung noch im letzten Bande des ,,Antlitzes der Erde" nachdrücklich vertreten hatte und wie sie sich auch sonst unter den deutschen Geologen wenigstens bis vor kurzem noch der allgemeinsten Anerkennung erfreute, geltend gemacht. Ich habe gezeigt, daß gerade in den orogenetischen Phasen, in denen die „Senkung" eingetreten sein soll, die vorher tief versenkten Gesteinsmassen, z. B. in der Randzone des niederdeutschen Beckens (nördliches Harzvorland, Südhannover, Teutoburger Wald), der Denudation zugeführt, also hochbewegt worden sind

Die Beweisführung ist dabei einfach und klar. Wir betrachten, um ein Beispiel zu geben, irgendeine Phase der saxonischen Gebirgsbildung, z. B. die kimmerische (jung-jurassische). Wir leiten aus den uns heute zugänglichen Verbandsverhältnissen der Schichten ab,

1) dass vor dieser Gebirgsbildung die damals noch ungestörten Schichtmassen tief unter dem Meeresspiegel lagen,

2) dass nach der Gebirgsbildung die nunmehr gestörten (und gefalteten) Gesteinsmassen einer ausgedehnten und tief eingreifenden Denudation unterliegen, also über Meeresniveau gehoben worden sind.

Und daraus ergibt sich eben, daß mit der Gebirgsbildung eine Aufwärtsbewegung der Gesteinsmassen zeitlich zusammenfällt.

Genau so ist die Sachlage in den Gebieten der Bruchfaltung Nordfrankreichs oder Südenglands, z. B. entlang der Achse des Artois. Die Denudationen, die im Gebiete dieser Achse·zwischen dem Jura und der Unterkreide im Gefolge der vor-kretazischen Gebirgsbildung (so im Boulonnais) oder weithin nach der Oberkreide und vor dem Landénien im Gefolge der vor-tertiären Gebirgsbildung eingetreten sind, beweisen die mit den Dislokationsvorgängen erfolgte Hebung, die auch die ,,gesunkenen" Zonen betroffen hat.

Mag also nunmehr der Zusammenhang zwischen Gebirgsbildung und Aufwärtsbewegung für die Decken- und echten Faltengebirge, wie auch für die Bruchfaltengebirge, die als bei der Faltung zerreißende Massen aufwärts bewegt werden, erwiesen sein, so ist die. Sachlage nicht anders hinsichtlich der dislozierten Gebiete von Blockgebirgstypus.

Zwischen den von Hunderten von Verwerfungen durchsetzten Falten des Erzgebirges und der paläozoischen Rheinischen Masse liegt das Gebiet der ,,Randstaffeln" der Rheinischen Masse. Sie sind in sich kaum noch gefaltet und geben geradezu schulbeispielmäßig das Bild des stufenförmigen ,,Abbruches" einer älteren Masse .zu einem Senkungsfelde. Entlang der Diemel von Marsberg abwärts befinden wir uns zunächst im paläozoischen Grundgebirge. Es folgt die erste Abbruchstaffel, die hier Zechstein und Unteren Buntsandstein enthält; es folgt die zweite, zusammengesetzt aus Mittlerem Buntsandstein; es folgt die dritte bestehend aus Röt und Muschelkalk, - und so kommen wir allmählich in das ,,Senkungsgebiet“ mit den Eggefalten.

Diese Abbruchstaffeln sind gleich den Eggefalten vor-kretazisch. Das beweist nördlich der Diemel die diskordante Überdeckung durch die Kreide, und der Vorgang ist auch hier ohne weiteres klar. Ehe die Verwerfungen entstanden und die Erscheinung des Blockgebirges hervorriefen, lagen die heute von der Kreide transgredierend überdeckten Schichten in der Tiefe und über sie war noch das Jurameer oder wenigstens noch das Liasmeer, - jüngerer Jura ist am südlichen Eggegebirge nicht mehr bekannt -, hinweg geflutet. Die flache Überdeckung der eingeebneten Randstaffeln durch die Kreide beweist aber, daß der Gebirgsbildung eine tief eingreifende Denudation gefolgt ist und der bei der Gebirgsbildung entstandene Niveauunterschied beseitigt hat. Diese Denudation setzt natürlich die entsprechende Heraushebung des ganzen Staffelgebietes voraus. Also auch hier ist die Wirkung des orogenetischen Vorganges keine absenkende, sondern eine heraushebende. Und in welche anderen Gebiete vom Blockgebirgstypus wir nun auch gehen mögen, nirgends ist ein Beweis dafür gegeben, dass den Blockverschiebungen eine Sedimentation verstärkten Maßstabes als Hinweis auf eingetretene Versenkungen unmittelbar gefolgt ist, vielmehr finden wir so oft, dass an den dislozierten Erdstreifen die Denudation anhebt, d. h. dass Gesteine, die vorher wegen ihrer Tiefenlage für die Denudation nicht erreichbar waren, durch Hebung in die Sphären der Denudation gelangt sind.
Die eben erläuterten Verhältnisse fasse ich zusammen zum .orogenetischen Hochbewegungsgesetze:

> Alle Gebirgsbildung, auch des Bruchfalten- und Blockgebirges, erfolgt unter Aufwärtsbewegung gegenüber dem ozeanischen Spiegel.

b. Das orogenetische Hochbewegungsgesetz in seiner Sonderbedeutung für die. Verwerfungsvorgänge.

Die Verwerfungen sind ja, wenn wir (s. oben) von den seltenen Ausnahmefällen anorogenetischer (seismischer) Dislokationen und .selbstverständlich auch von den atektonischen Vorgängen absehen, nur eine Art der Orogenese, und es ist damit nur die Formulierung des orogenetischen Hochbewegungsgesetzes für diese besondere Art orogenetischer Erscheinungen, wenn ich sage:

> Die Verwerfungen sind Begleiterscheinungen einer Aufwärtsbewegung gegen über dem ozeanischen Spiegel.

Dieser Satz enthält allerdings einen scharfen Widerspruch gegenüber jener auch heute noch recht allgemein verbreiteten Auffassung, die in radialer Senkung das Wesen des Verwerfungsvorganges erblickt. Er stellt örtliche Einsenkungen oder Einbrüche in Spalten an sich nicht in Abrede, nur sagt er aus, daß sie in aufsteigenden Zonen erfolgt sind. Betrachten wir derartige Fälle.

Um zunächst bei den Verhältnissen Mitteldeutschlands zu bleiben, so knüpfe ich daran an, daß ich im Jahre 1908 in den Erläuterungen zu den geologischen Blättern des südlichen Eggegebirges[1] den ,,Muldengräben", d. h. den durch den Hinzutritt von Verwerfungen zu ,,Gräben" gewordenen Muldenkernen, solche Versenkungen gegenübergestellt habe, die nach der ganzen Art ihres Auftretens als verworfene Mulden nicht recht erklärbar, vielmehr auf Einstürze in klaffende Spalten oder auf sonstige des Untergrundes rückführbar sind. Besonders handelte es sich um Einbrüche in Sattelspalten. Spätere Untersuchungen am nördlichen Teutoburger Walde, dem Osning[2] zeigten in der ,,Haßbergversenkung" einen besonders typischen Fall solcher Zerrungsgräben. Der Osning ist ein Sattel, dessen Südwestflügel auf der weiten Erstreckung von Detmold bis Borgholzhausen tief versenkt und durch den Nordostfügel überschoben ist. Auf diese Erstreckung finden sich in den Muschelkalkschichten des Nordostflügels, - und zwar in durchschnittlich 500 m Abstand von der Sattelspalte (Sattelüberschiebung), vielfach schmale streichende Versenkungen von Keuper und Jura, die ich zu der Haßbergzone zusammengefasst habe. Dass sich diese Haßbergzone, die den Gesamtbau des Osningsattels wenig stört, gerade auf derjenigen Erstreckung des Gebirges zeigt, in welcher der Südwestflügel überschoben und überkippt ist, lässt von vornherein den Zusammenhang zwischen ihr und, der Versenkung und Überschiebung des Südwestflügels vermuten, und legt ihre Deutung als typischer ,,Zerrungsgraben" in dem Sinne nahe, daß ,,bei oder nach der tiefen Absenkung des Südwestflügels der dem Bruchrande zunächstliegende Teil des Nordostflügels über den weichenden Südwestflügel hinübergeschoben wurde und die dadurch verursachte Spannung ihre Auslösung in einem der Abbruchszone parallelen, etwas nördlich von ihr liegenden Risssysteme fand, in das dann von oben her Schollen jüngeren Gebirges hineinstürzten".

1) Vgl. Erl. z. Bl. Peckelsheim, Lief. 147 d. geol. Spezialkarte von Preußen usw., S 68 u. 64.
2) H. Stille, Der Mechanismus der Osning-Faltung. Jahrb. d. preuß. geol. Landesanst. f. 1910, Bd. XXXI, l. Teil, S. 857ff.

Zur näheren Erläuterung verweise ich auf die im Jahre 1910 (l. c.) veröffentlichten schematischen Profile.

Dieses Beispiel zeigt zwar, daß im Falle derartiger Zerrungsgräben Einsenkung oder Einbruch kleinerer Schollenstreifen gegenüber der Nachbarschaft erfolgt, - aber sie erfolgt innerhalb einer aufsteigenden Faltungszone und als Begleiterscheinung des gebirgsbildenden Prozesses. Also ist auch hier die Verwerfung ,,die Begleiterscheinung einer Aufwärtsbewegung", und tatsächlich ist das eingesunkene Grabenmaterial durch den tektonischen Gesamtvorgang hoch über seine Ausgangslage gehoben worden, wie die einfache Überlegung über seine Höhenlage vor und nach der Gebirgsbildung ergibt, wovon gleich noch die Rede sein wird. Es ist herausgehoben und dann wieder etwas zurückgestürzt.

Solche Einsenkungen oder Einstürze innerhalb aufsteigender Erdzonen bezeichne ich demnach als ,,Rückbrüche".

Die Diskussion über das Wesen der saxonischen Faltung hat mir dann im Jahre 1916 Veranlassung gegeben etwas weiter auf die Fälle einer "Zerrung aus Faltung", d. h. auf Fälle, in denen der faltende Druck zu Dilatationen, insbesondere zum Auf- reißen von Zerrungsspalten, führen kann, einzugehen. Ganz besonders habe ich dabei die Möglichkeit der ,,supramarginalen« Zerrung behandelt, d. h. der Zerrung je höherem, über dem Rahmen liegenden Niveau, in dem die ans der Tiefe herausgepressten Gesteinsmassen einen gewissen seitlichen Spielraum gewinnen, - und solche Fälle liegen m. E. am Osning und in den Zerrungsgräben des Eggegebirges vor. Eine andere Möglichkeit erläuterte ich im Anschlusse an van Werveke[2)] dahin, dass bei Aufwölbung eines starreren Grundgebirges, das eine geringe Decke von Sediment trägt, ,,die jungen Schichten gezwungen sind, sich dem sich aufwölbenden alten Kern anzupassen und ihre Oberfläche zu vergrößern. Das geschieht durch Zerreißungen, durch Verwerfungen . . .“ Auch in einem solchen Falle kann es zu Einstürzen in die Zerrungsspalten kommen, aber auch sie sind Begleiterscheinungen eines Hebungsvorganges, also Rückbrüche". Und wie steht es nun mit der Höhenlage der rückgestürzten Massen verglichen ·mit ihrer Höhenlage vor der Orogenese, von der der Rücksturz einen Teil ausmacht? Verbleiben die Rückbrüche stets über dem vor-orogenetischen Niveau?

1) H. Stille, Hebung und Faltung im sog. Schollengebirge. Ztschr. deutsch. Geol. Ges. 1916, Monatsber., S. 287 ff
2) nicht lesbar!

Betrachten wir zunächst wieder die Rückbrüche von Art der Haßbergzone oder der Zerrungsgräben des Eggegebirges, so erkennen wir, wie schon gesagt wurde, dass der Betrag der orogenetischen Heraushebung der nunmehr rückgestürzten Massen nur zum kleinsten Teile durch den Rücksturz wieder ausgeglichen ist; liegen sie doch auch nach dem Gesamtvorgange einschl. Rücksturz weit höher, als sie vorher gelegen waren. Im Falle des Osnings befanden sich z. B. die Keuperschichten des Rücksturzes vor der Gebirgsbildung einige hundert Meter unter dem Meeresniveau, - nach der Gebirgsbildung sind sie trotz des Rücksturzes sehr erheblich gehoben. Für die Auffassung aber, dass hier zwei getrennte Orogenesen vorliegen, etwa eine ältere, die den Osningsattel schuf, und eine jüngere, die zur Haßbergversenkung führte, sodass letztere einer selbständigen, rein abwärtigen Orogenese, unabhängig von dem Hebungsvorgange des Osnings, ihre Entstehung verdankte, ist nicht der geringste Anhalt gegeben und es bliebe das räumliche Gebundensein der Haßbergversenkung gerade an die Überschiebungszone des Osnings und ihr Verschwinden im Fortstreichen nach Südost und Nordwest mit dem Verschwinden der Überschiebungserscheinung unerklärt. Noch evidenter ist die Gleichzeitigkeit von Faltung und Zerrungsgräben am Eggegebirge, wo beide Erscheinungen der vor-kretazischen orogenetischen Phase angehören.

Und wenn überhaupt die Gedankengänge hinsichtlich des Zustandekommens der "supramarginalen" Zerrungen richtig sind, so gibt ja erst .die Hebung über das Rahmenniveau die Möglichkeit für die Entstehung der Zerrungsspalten, während in .den tieferen Zonen zwischen und neben dem Rahmen die starke Pressung herrscht, die zur Heraushebung der sich faltenden Massen führt. Schon nach diesem Gedankengange erscheint die tiefere Zone neben den Rahmen wenig für die Entstehung von Zerrungsrissen und damit für die Aufnahme von Rückstürzen geeignet. Man wende, wie ich in diesem Zusammenhange aus der oben zitierten Arbeit aus dem Jahre 1916 wiederholen möchte, gegenüber der Auffassung der supramarginalen Zerrungen nicht ein, dass die in Rede stehenden Zerrungsgräben überall in dem Niveau des Rahmens und nicht über diesem liegen; das ist die Folge des Wiederversinkens der saxonischen Ketten, das schon bald nach den Faltungen einsetzte.

So komme ich zunächst für einen großen Teil unserer Zerrungsgräben zu der Auffassung, daß die Einsenkung nicht nur die Begleiterscheinung einer Aufwärtsbewegung ist,

sondern dass als Endresultat des ganzen orogenetischen Vorganges die rückgestürzten Massen höher liegen als vorher. Ob dieses für alle Fälle von Rückbrüchen gilt, ist eine Frage, die mir noch nicht spruchreif erscheint. Wenn man bei Behandlung dieser Frage die tiefe Absenkung mit dem Eindringen des Meeres in die ,,Senkungszonen“ beweisen will, - und das wäre wohl der richtige Weg der Beweisführung, - so muss man sich hüten, mit den Verschiebungen an den Dislokationen die oft nach folgen de epirogenetische Absenkung der dislozierten Massen zu verwechseln. In Norddeutschland sehen wir das Meer der Unteren Kreide über kimmerisch dislozierte Gebiete vorgreifen, wobei die Begleitumstände zeigen, dass das Vorgreifen eine Folge des Wiederversinkens der kimmerisch gefalteten Gebiete ist, aber wie leicht kann, wenn man die Vorgänge nicht scharf zeitlich analysiert und in diesem besonderen Falle nicht die zwischen Dislokation und Transgression eingetretene Denudation würdigt, die Vorstellung entstehen, dass infolge der Dislokation das Meer vorgedrungen sei, die Dislokation also zu einer Abwärtsbewegung geführt habe.

Aber mag nun auch in Einzelfällen der Rücksturz eine Gesteinsmasse unter ihr vororogenetisches Niveau bringen, jedenfalls erscheint er auch dann als Begleiterscheinung eines Hebungsvorganges und bedeutet keinen Widerspruch gegen das orogenetische Hochbewegungsgesetz in seiner auf die Verwerfungen bezüglichen Sonderform (siehe oben). Nur die Kehrseite dieser Sonderform ist es aber, wenn wir weiter sagen:

> Alle Abwärtsbewegung, gemessen am ozeanischen Spiegel, erfolgt, - soweit es sich nicht um ,,Rückbrüche" handelt, - bruchlos.

Vor allen Dingen hebe ich hier nochmals hervor, dass unzweideutige Beweise für die immer wieder behaupteten Einbrüche der Meere nicht vorhanden sind, sondern dass es sich, wo immer wir die Randzone der fossilen Meere untersuchen können, um bruchlose Einsenkung handelt[1]. Was aber für die fossilen Meere erweisbar ist, muss wohl auch für die rezenten Meere bis zum unzweideutigen Beweise des Gegenteils gelten. G. Steinmann[2] bezeichnet als positive Gebirgsbildung ,,diejenigen gebirgsbildenden Vorgänge, die sich vorwiegend aus hebenden Bewegungen zusammensetzen, mögen diese sich als Folgen von Faltungen oder von schollen- oder blockförmigem Aufsteigen ergeben.

1) H. Stille, Injektivfaltung und damit zusammenhängende Erscheinungen. Geologische Rundschau, 1817, S. 89 ff., spez. S. 138-140.
2) Die Bedeutung der jüngeren Granite in den Alpen. Geologische Rundschau

Gebirgsbildung,, diejenigen gebirgsbildenden Vorgänge, die sich vorwiegend aus hebenden Bewegungen zusammensetzen, mögen diese sich als Folgen von Faltungen oder von schollen- oder blockförmigem Aufsteigen ergeben. Negative Gebirgsbildungen sind dagegen solche, die sich vorwiegend in Senkungen und Einbrüchen äußern". Im Anschluss an diese Steinmannsche Unterscheidung wies ich 1917[1)] darauf hin, dass bei den Gräben Niederhessens ,,schollenförmiges Aufsteigen" ,,als Folge von Faltungen" vorliegt und dass diese Gebilde also unter die positive Gebirgsbildung fallen. Nunmehr glaube ich aber auf Grund der im Gesetze der orogenetischen Hochbewegung ausgedrückten Sachlage jegliche negative Gebirgsbildung, soweit es sich nicht um ,,Rückbrüche" bei Aufwärtsbewegungen handelt, ablehnen zu müssen. Natürlich gilt auch bei diesen Betrachtungen der ozeanische Spiegel als Vergleichsbasis.

Nicht unterliegen dem orogenetischen Hochbewegungsgesetze natürlich die anorogenetischen und weiter die unechten (atektonischen) Dislokationen; aber sie fallen ja auch gar nicht unter den Begriff der ,,Orogenese".

III. FOLGERUNGEN.

Als verknüpfende Verhältnisse zwischen den verschiedenartigen Formen der Gebirgsbildung haben wir kennen gelernt:

1. die Verknüpfung der Strukturen durch Übergänge zu einer sozusagen lückenlosen Formenreihe vom höchsten tektonischen Typus, dem Deckengebirge, zum niedrigsten Typus, dem Blockgebirge; dabei können Änderungen des tektonischen Typus auch im Fortstreichen eines und desselben geologischen Gebildes eintrete;

2) die entstehungszeitlichen Verhältnisse;

3) das Aufwärtige des Bewegungsvorganges.

Wir können also zusammenfassend sagen, daß gleichzeitig (2) die verschiedensten, aber durch Übergänge mit einander verknüpften (1) Formen der Gebirgsbildung unter Hebung gegenüber dem ozeanischen Spiegel (3) entstehen
Aus diesen Verhältnissen ergibt sich m. E. die Unmöglichkeit einer grundsätzlichen Unterscheidung einer tangentialen Gebirgsbildung, die zum Faltengebirge führt,

1) 1913. Ber. über Hauptvers. d. Geolog. Vereinigung zu Frankfurt am 4. Januar 1913 S. 4, Anm. 1.
2) Injektivfaltung usw., S. 99.

und einer vertikal gerichteten Gebirgsbildung, die das Schollengebirge schaffen soll. Gegen diese Unterscheidung spricht:

1. das Vorhandensein der Übergangsformen.

Stelle ich ein typisches Faltengebirge einem Blockgebirge gegenüber, so mag zunächst zwar die Vorstellung, dass ganz verschiedenartige Vorgänge, - im ersten Falle ein zusammenschieben der, im letzteren ein senkender, - die so ungemein verschiedenen Bilder geschaffen haben, eine gewisse Berechtigung zu besitzen scheinen. Aber betrachten wir nun die beiden Formen als Glieder einer durch zahlreiche Übergänge verknüpften Reihe, so ist es unmöglich, innerhalb dieser Reihe einen Schnitt zu machen zwischen denjenigen Formen, die durch seitlichen Druck entstanden sind, und der nächsttieferen, jedoch nur wenig abweichenden Form, die nun plötzlich auf ganz andere Ursachen zurückgehen soll, - umso mehr, wenn wir vielleicht feststellen können, dass diese letztere Form im Fortstreichen des Gebirges wieder eine Gestaltung annimmt, die mit den nächst höheren und dem Faltengebirge noch zugerechneten Gestaltungen übereinstimmt.

2. die Entstehung aller Formen der Gebirgsbildung, auch des Bruchfalten- und Blockgebirges, unter Heraushebung ihrer Gesteinsmassen.

Sind also das Deckengebirge und das Faltengebirge, wie wir nicht zweifeln ·können, das Ergebnis seitlichen Druckes, so müssen auch das Bruchfaltengebirge und das Blockgebirge samt ihren Verwerfungen durch seitlichen Druck geschaffen worden sein. Beruht damit die Verschiedenheit der tektonischen Typen nicht auf, der Verschiedenartigkeit der orogenetischen Kräfte, so wäre zu erwägen, ob sie nicht durch die Verschiedengradigkeit der Kräfte bedingt ist. Gewiss ist die Deckenfaltung eine sehr starke Faltung, - wenn man die Stärke der Faltung nach dem Grade des erzielten Zusammenschubes beurteilt -, gewiss ist die normale Biegfaltung eine wechselnd starke, während die Bruchfaltung eine recht "schwache“, während beim Blockgebirge in vielen Fällen überhaupt keine Einengung bewirkt wird. Aber die Stärke der Einengung lässt doch nicht ohne weiteres einen Schluss auf die Stärke der wirksam gewesenen Kräfte zu, - denn es ist ein großer Unterschied, ob sich die Zusammenpressung in Materialien mit sehr hohen oder in solchen mit geringen Einengungswiderständen vollzieht. Hinzu kommt, dass noch nicht einmal durchweg der niedrigere tektonische Typus auch die schwächere Einengung bringt;

ist doch z. B. in manchem Bruchfaltengebirge, wenn widersinnig einfallende Verwerfungen („Überschiebungen") stärker auftreten und einigermaßen steile Schichtenstellung vorherrscht, der Zusammenschub sicher beträchtlicher, als in einem flachwelligen, bruchlosen Schichtensysteme, das immerhin ein ,,echtes" Faltengebirge ist. Aus diesen Gründen kann man nicht in der Intensität des zusammenschiebenden Druckes die Ursache oder wenigstens nicht die wesentliche Ursache der Strukturverschiedenheiten suchen.

Die Erklärung, weshalb der tangentiale Druck in dem einen Falle zu diesem, in dem andern zu jenem geotektonischen Typus geführt hat, ergibt sich aus dem Vergleiche der Untergrundverhältnisse, wie sie bei der Gebirgsbildung in den einzelnen Gebieten vorgelegen haben. Es zeigt sich bei diesem Vergleiche, dass die Art der Gebirgsbildung in erster Linie die Funktion der Mobilitätsverhältnisse (,,Gefügigkeit") des betroffenen Bodens ist. Der mobilere Untergrund verbiegt sich eben verhältnismäßig leicht und bruchlos, der starrere (stabilere) widersetzt sich der Verbiegung und reagiert auf den seitlichen Druck unter Bruchbildung. Deshalb finden wir die höheren tektonischen Typen in den ehemals mobileren Räumen der Erdkruste, den Gebieten der tiefen Geosynklinalen, während die niedrigeren Typen im Allgemeinen an die stabileren Erdzonen gebunden sind. Somit wechseln auch bei wiederholter Gebirgsbildung in ein und demselben Raume die tektonischen Formen, wenn inzwischen Veränderungen der Mobilität eingetreten sind. Im jüngeren Paläozoikum entsteht in Mitteleuropa das variscische ,,Faltengebirge"; aber nach dem im Zusammenhange mit dieser Faltung der Boden eine höhere Stabilität gewonnen hatte, die nur teilweise in der Folgezeit durch Beckensenkung und Sedimentation wieder ausgeglichen werden konnte, erschienen, und zwar z. T. schon in der jüngsten Phase der variscischen Faltung (vor dem Oberrotliegenden, s. oben), vor allem dann aber bei der mesozoisch-känozoischen (saxonischen) Gebirgsbildung die- Formen des Bruchfalten- oder gar des Blockgebirges. Sogar in ein und demselben Profile können bei großer Verschiedenheit der Mobilität verschiedene Strukturtypen auftreten. So stecken in der Tiefe des norddeutschen Bruchfaltengebirges häufig Salzkörper, die in sich die Struktur der Faltengebirgswelt zeigen; in dem sehr mobilen Salz hat also der Druck zu Faltungserscheinungen geführt, während die umgebenden Schichtsysteme nach Art eines Schollengebirges disloziert wurden. In den mobilen Räumen und Materialien führt also der oro-

genetische Druck im Allgemeinen zum Decken-·und Faltengebirge, in den resistenteren zum Bruchfaltengebirge oder gar zum Blockgebirge, während es in den stärkst resistenten Erdzonen kaum noch zu orogenetischen Verschiebungen kommt. Da nun aber hinsichtlich der Mobilität alle Übergänge vorhanden sind, so ist auch das Vorhandensein aller Übergangsformen zwischen den tektonischen Typen erklärt. Daß die Stärke des wirkenden Druckes für die Form des entstehenden Gebildes nicht wesentlich bedingend sein kann, wurde schon gesagt. Aber insofern scheint sie nicht ohne Bedeutung zu sein, als der Druck mobilisierend zu wirken vermag und alsdann im Zusammenhange mit der erhöhten Mobilität auch ein höherer Strukturtypus auftritt. Ferner kann in manchen Fällen neben den Mobilitätsverhältnissen auch den Lageverhältnissen eine gewisse Bedeutung für die Art des entstehenden tektonischen Gebildes zukommen.